동영상 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기술

류 대 현[†]

요 약

본 논문에서는 멀티미디어 데이터의 저작권 보호를 위하여 압축된 비디오 신호에 디지털 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. MPEG-2 등과 같이 DCT와 움직임 보상 부호화 방식으로 압축된 비트스트림에서, 움직임 벡터를 이용하여 오브젝트를 추출하고 각 오브젝트에 대역확산 기법을 사용하여 독립적인 워터마크 정보를 삽입하는 방식을 사용하였다. 제안된 방식은 프레임마다 워터마크 정보가 다르게 삽입될 뿐 아니라 평균 조작 또는 통계적인 분석과 같은 공격 방식에도 강인성을 보인다.

Digital Watermarking Technique for the Copyright Protection of Motion Pictures

Dae-Hyun Ryu[†]

ABSTRACT

In this paper, a new watermaking method embedding digital watermarks in the compressed video for the copy protection of multimedia data. The proposed method segments objects and embeds independent watermarks in each objects by spread spectrum method in the bitstream domain which is compressed by DCT and motion compensated coding method like MPEG-2. And, the proposed method not only embeds watermarks but show the robustness to the attacks like average operation or statistical analysis.

1. 서 론

멀티미디어 산업의 발전과 인터넷의 보편화로 인해 멀티미디어 컨텐트의 사용이 급증하고 있다. 또한, 네트워크 망을 통한 상업적 거래가 확대됨에 따라 멀티미디어 컨텐트(정지영상, 동영상, 오디오, 문서, 등)의 지적소유권, 저작권의 보호에 대한 요구가 증가하고 있다. 워터마크는 멀티미디어 컨텐트에 사용자 정보를 감춤으로써 효과적으로 저작권 및 소유권을 보호할 수 있는 도구이다[1]. 동영상 즉 비디오 신호에 대한 워터마크의 응용 분야는 인터넷을 통한 압축된 영상의 배포, 디지털 비디오 디스크(DVD), 유료 디지털 TV 방송 등이 있다. 유료 디지털 TV 방송의 경우 비디오 신호의 디코딩과 한정 수신(복호화)을 위하여 셋탑 박스를 필요로 한다. 이러한 경우 워터마크의 적용 예를 그림 1에서 보여주고 있다[2].

워터마크는 음성이나 정지영상, 동영상 등 모든 멀티미디어 데이터를 목표로 연구 개발되어 왔으나 현재까지는 대부분의 연구가 정지영상 중심으로 이루어져 왔다. 그러나 이 정지 영상에 워터마크를 삽입하는 기술을 비디오, 즉 동영상에까지 적용할 수 있다. 가까운 예로 NEC는 비디오 컨텐트를 다루는

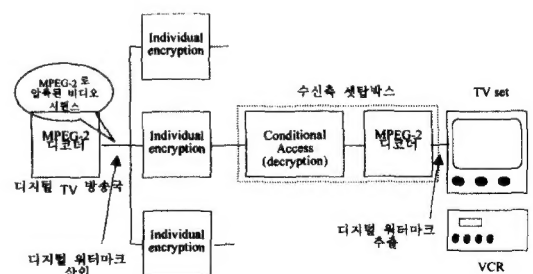



그림 1. 디지털 TV 방송에서 워터마크의 적용

이 논문은 1998년 학술진흥재단의 학술연구비에 의해 지원되었음

[†] 한세대학교 정보통신학과

NEC 리서치 인스티튜트가 개발한 정지 영상에 워터마크를 삽입하는 기술을 보유하고 있는데 이 기술은 MPEG-1 및 MPEG-2 인코딩 방법의 중간과정이고, 영상의 압축에 많이 쓰이는 DCT를 이용한다[5]. 그리고 NTT는 MPEG 프로세싱 내에 워터마크를 입히는 방법을 개발하였다. 또한 Masao Kasahara교수는 MPEG포맷으로 영상을 압축하기 위해 워터마크를 움직임 벡터에 입히는 방법을 연구하고 있다[6]. 최근 Hartung 등은 압축된 동영상의 비트스트림에 적용할 수 있는 워터마킹 방식을 연구하고 있다[2-4].

아날로그 비디오의 경우는 복사시 화질의 저하가 발생하나 디지털의 경우에는 이러한 문제가 없어지므로, 비디오의 디지털 방송에 관련하여 저작권 보호의 법적 이슈는 점점 중요해지고 있다. 또한, 수신측에서의 불법적인 복사나 배포를 확인하기 위하여 비디오 신호를 암호화하는 한정 접속 유니트(conditional access unit)에 개개의 워터마크가 포함될 수 있다.

일반적으로 영상 신호에 시각적으로 보이지 않으면서(invisibility) 강인성(robustness)을 갖는 워터마크를 삽입하기 위하여 시각 인지 모델(visual perceptual model)을 사용하거나, 영상의 일부 영역이 시각적으로 중요하지 않다는 사실을 이용한다[7,10].

본 논문에서는 디지털 TV 방송 프로그램, 비디오 영상 등의 동영상에 적용할 수 있는 워터마킹 기술을 제안하였다. 동영상에 워터 마킹하는 방법에는 코딩되기 전의 비디오신호에 워터마킹하는 방법과 코딩된 후의 비트스트림 영역에서 워터마킹하는 방법이 있다. 일반적으로 H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2와 같은 대부분의 비디오 코딩 표준에서는 움직임 보상/이산 코사인 변환(motion compensation/discrete cosine transform) 방법을 채택하고 있으며 비트스트림 영역에서의 워터마킹은 영상압축 방식과 깊은 관련이 있다. 제안된 방식은 동영상을 코딩된 후의 비트스트림 영역에서 코딩하는 방법을 사용하였으며, 기본적으로 DCT영역에서 대역확산 기법을 이용하여 워터마킹을 삽입하였다[8,11]. 그리고 비디오 신호의 압축시 이미 계산되어 비트스트림에 포함된 움직임 벡터를 이용하여 오브젝트를 추출하고 워터마크 정보가 오브젝트에 독립적으로 삽입되는 방식을 적용하였다. 이 방식은 프레임마다 워터마크 정보가 다르게 삽입될 뿐 아니라 평균 조작 또는 통계적인 분석과 같은 공격 방식에도 강인성을 보인다.

본 논문의 구성은 먼저 2장에서 연구의 배경 즉, 워터마킹 기술의 개요 및 대역확산을 이용한 워터마킹 기술 및 워터마크에 대한 공격 방식 등을 설명한다. 3장에서는 동영상의 비트스트림 영역에서 대역확산방식을 이용한 워터마킹 방식을 설명하고 제안된 오브젝트 추출 방식과 이를 이용한 워터마킹 방식을 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통하여 결과를 고찰하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 디지털 워터마킹

워터마크 기법은 멀티미디어 컨텐트의 불법적인 복제를 막고, 데이터 소유자의 저작권과 소유권을 효율적으로 보호하기 위한 방법으로써 데이터에 일정한 기밀정보를 숨겨서 부호화하는 과정으로 이러한 부호를 워터마크라 한다.

비디오 신호 등을 포함한 멀티미디어 컨텐트의 정보보호를 위한 기존의 방법으로는 암호화(encryption)가 있었다. 암호에 의한 방법은 암호화된 컨텐트를 복호화(decryption)하지 않으면 컨텐트를 볼 수 없고 또 일단 한 번 복원되면 원래의 컨텐트와 동일하다. 그러나 워터마킹에 의한 방법은 워터마킹된 후에도 외관상으로는 원래의 컨텐트와 거의 차이가 없고, 삽입된 워터마크는 컨텐트에 변형을 가해도 쉽게 없어지지 않는다는 특징이 있다.

2.1 워터마크에 요구되는 특성

워터마크가 가져야 할 특성은 여러 가지가 있을 수 있으나 일반적으로 다음과 같이 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

비 가시성(Invisibility) : 워터마크는 일반적인 사용자에 의해 보여지지 않아야 하고, 컨텐트의 질 또한 감퇴되지 않아야 한다. 그러나 컨텐트의 제공자는 추출이 가능해야 한다. 즉, 멀티미디어의 보급자는 워터마크를 넣지 않은 원시 컨텐트를 가지고 있기 때문에 워터마크를 입힌 컨텐트와 원시 컨텐트의 비교를 통해 워터마크의 삽입 여부를 알 수 있다. 그러나 불법적인 사용자의 경우는 워터마크를 삽입한 데이터만을 소유하게 되므로 원시 컨텐트와의 비교가 불가능하고, 워터마크의 삽입 여부를 알지 못한다. 컨텐트의 질을 감퇴시키지 않기 위해서 워터마크를

컨텐트의 중요하지 않은 부분에 삽입을 했으나 이것은 다음에 열거할 워터마크의 성질과 상충된다.

강인성(Robustness) : 오디오 데이터, 정지 영상, 동영상, 문서, 등의 멀티미디어 컨텐트는 여러 가지 형태의 변형이 가해질 수 있다. 즉, 컨텐트를 압축할 수도 있고, 영상의 경우는 컬러 변경이나 영상의 휘도를 조정할 수도 있다. 오디오 데이터의 경우는 베이스를 증가시킬 수도 있다. 또한 일반적인 신호의 변형, 즉 컨텐트를 유손실 압축한다든지, A/D, D/A 변환시킬 수 있다. 그리고 확대/축소, 이동, 자르기, 회전 등의 변형을 줄 수도 있다.

워터마크는 이러한 변형을 가해도 변형된 컨텐트 내에서 추출이 가능해야 한다. 워터마크가 이러한 성질을 갖기 위해서는 위에서 나타낸 컨텐트의 질을 저하시킬 수 있다. 즉 워터마크가 강인한 성질을 갖기 위해서는 워터마크 정보를 컨텐트의 중요한 부분에 삽입 해야 하고, 이것은 컨텐트의 질을 저하시킨다. 그러나 컨텐트의 질의 저하를 막기 위해 워터마크 정보를 컨텐트의 중요하지 않은 부분에 넣게 되면 불법적인 컨텐트 사용자는 컨텐트 품질의 저하 없이 워터마크 정보의 제거가 가능하다.

워터마크의 특성을 살려서 저작권과 소유권을 보호하고자 하는 많은 노력이 있었고, 많은 알고리즘이 개발되었다. 공간 영역에서 컨텐트에 직접 워터마크를 삽입하는 방법에서부터 컨텐트를 주파수 변환하여 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법 등의 여러 가지 방법이 있다. 초기의 워터마킹은 주로 정보를 숨기는 데에만 초점을 맞추었다. 즉 앞에서 열거한 워터마크가 가져야 할 특성은 고려하지 않았고, 단지 서로 알고있는 사용자끼리만 통하면 되었다. 또한 현재까지 개발된 대부분의 워터마크 기술은 워터마크를 입힌 영상에 필터링을 한다던가, 확대, 축소, 회전, 영상 일부 추출 등의 변형을 가하면 워터마크에 심한 손상이 초래되어 효율적인 저작권 보호에 어려움이 있다.

2.2 워터마크의 삽입

영상의 소유권자는 원 영상에 자신의 ID나 임의로 만들어 낸 노이즈 형태의 신호, 또는 가우시안 노이즈를 삽입할 수 있다. 이렇게 워터마크가 들어간 영상이 배포되고, 만일 이 영상이 변형되더라도 워터마크 검출 시스템에서 이 영상이 자신의 영상임을 증명할 수 있고 이러한 방법으로 영상의 저작권이 보호되게 된다. 원 영상에 워터마크를 넣는 방법에는 공간 영역에서 단순히 선형적으로 합하는 것, 주파수 영역에서 시각 마스킹(visual masking)을 이용하여 워터마크를 삽입하는 것 등 다양한 방법이 제시되어 왔다[7].

대표적인 워터마크 삽입 방법에는 공간 영역과 주파수 영역에서 각각 원래의 신호(컨텐트)에 선형적으로 워터마크를 더하는 방법이 있다. 이 때 공간 영역에 워터마크를 더하는 경우, 일반적인 필터링이나, 신호의 변형에 민감하기 때문에 워터마크의 특성을 만족시켜주지 못한다. 반면에 신호를 주파수 변환하여 주파수 영역에서 워터마크를 선형적으로 넣게 되면 비록 공간영역에서 워터마크를 넣는 것보다는 강인하나 역시 여러 가지 신호 변형에 의해 워터마크가 민감하게 영향을 받을 수 있다.

그리고 워터마킹을 하는 경우 워터마크를 넣은 영상의 화질을 향상시키는 것은 상당히 어려운 문제이다. 따라서 워터마크를 사용자가 임의로 만들지 않고 여러 가지 정상 분포(normal distribution)를 갖는 가우시안 노이즈나, PN(pseudo noise) 수열을 이용한다. 이 경우에는 영상의 화질은 향상시킬 수 있으나 영상이 변형됐을 때 워터마크의 강인성을 향상시키지는 못한다. 따라서, 식 (1)과 같이 워터마크의 스펙트럼을 신호와 같은 모양을 갖도록 워터마크를 조정하여 신호에 비선형적으로 넣음으로써 신호의 질과 워터마크의 강인성을 보장할 수 있다. 즉, 신호의 크기가 작은 곳에 큰 워터마크 신호를 넣는다면 영상의 질이 떨어질 것이고, 신호의 크기가 큰 곳에 작은 크기의 워터마크를 넣는다면 워터마크가 원래의 신호에 큰 영향을 주지 않기 때문에 워터마크의 강인성을 떨어뜨릴 수 있다. 역으로 생각하면 신호의 크기가 큰 곳에서는 워터마크의 크기도 크게(임의의 한계치 α) 주고, 신호의 크기가 작은 곳에서는 워터마크의 크기도 같이 줄여 강인성도 보장하고 신호의 품질도 보장할 수 있다.

$$I_w = I(1+\alpha W) \tag{1}$$

위 식 (1)에서 I_w는 워터마크가 들어간 영상을 나타낸다. 또한, α는 임계치를 나타내고, W는 워터마크를 나타낸다.

신호의 품질과 워터마크의 강인성을 보장하기 위해 신호의 스펙트럼과 같은 형태의 워터마크를 만들어 신호에 워터마크를 더하는 방법이 있다. 그러나 이 경우, 워터마크를 추출하기 위해서는 워터마크를 넣지 않은 원래의 신호가 필요하다. 이것을 보완하기 위해 영상의 경우 예를 들면, 영상을 DCT한 후에 JPEG이나 MPEG기법에서 사용되는 것과 같이 영상을 지그재그 스캔(zigzag scan)하여 특정영역의 영상 열을 떼어내어 이 영역에 워터마크를 삽입하고 다시 원 상태로 복귀시키는 방법이 있다[8].

2.3 워터마크의 검출

워터마크의 검출에는 크게 원 영상이 필요한 경우와 필요 없는 경우 두 가지가 있다. 자신이 소유권을 가지고 있는 멀티미디어 컨텐트가 웹이나 기타 광고 등에 불법적으로 배포되었다고 생각될 경우, 이를 검출하기 위해 원래의 영상을 필요로 하는 경우가 있다. 먼저, 변형된 영상이나 기타 신호에서 원래의 영상(신호)를 뺀 후 나머지를 워터마크라 생각하고, 원래 신호에 입혔던 워터마크와의 상관계수(correlation coefficient)를 구하고, 이 값이 어떤 임계치 이상이면 자신의 워터마크라고 판명하거나, 또는 자신이 만든 여러 가지의 워터마크와 변형된 워터마크와 비교하여 가장 상관계수가 높은 워터마크를 신호에 들어간 워터마크라고 판명할 수도 있다.

위의 경우와는 달리 워터마크를 추출할 때 원래의 신호를 필요로 하지 않는 경우는 보통 신호에 워터마크를 삽입할 때 삽입하는 위치를 알고 있어 그 위치에서의 신호만을 검출하여 이것과 삽입한 워터마크와의 상관계수를 구하고 가장 높은 값을 갖는 신호를 검출해 내게 된다. 물론, 이 경우도 워터마크를 입히지 않은 원래의 신호를 가지고 있다면 더 높은 추출율을 가지게 될 것이다.

위와 같이 워터마크를 삽입하고 추출하는 데는 여러 가지 알고리즘이 있을 수 있다. 그러나 어떤 알고리즘을 써서 만들든지 워터마크의 신호의 변형에 대한 강인성과 워터마크가 삽입됐을 때 신호의 질이 고려되어야 한다.

2.4 대역확산 방식에 의한 디지털 영상의 워터마킹

앞에서 설명하였듯이 워터마크는 일반적인 신호처리 기술 이나 기하학적 왜곡(geometric distortion)의 영향을 받게 되는 영상의 주파수 성분에는 삽입되지 말아야 하며, 시각적으로 영상의 특성을 결정짓는 고 주파수 성분과 같은 중요한 부분에 삽입되어야 한다. 이때 워터마크 정보의 삽입으로 인한 원래 영상의 변화는 사람이 인식하지 못할 정도가 되어야만 한다. 따라서 사람이 인식하지 못하면서 강인한 특성을 유지할 수 있는 워터마크 삽입 방법으로 현재 각광을 받고 있는 것으로는 대역 확산을 이용한 방법이 있다.

대역 확산 통신에서는 좁은 대역(narrow band)의 신호를 훨씬 큰 대역폭에 걸쳐서 보냄으로써 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지는 아주 작은 양이 되게 된다. 이와 같은 개념으로 워터마크를 많은 주파수 성분에 걸쳐서 분산시켜 삽입함으로써 결론적으로 에너지가 분산되어 한 주파수에서 보면 매우 작은 양이 되므로 측정이 어렵게 되는 것이다[3]. 따라서 워터마크의 삽입된 주파수 위치나 내장 정보를 알 수가 없게 만드는 것이다. 이때 원래의 영상 정보를 주파수 성분으로 변환하는 방법으로는 FFT, DCT, Wavelet 변환 등 어느 변환을 사용해도 가능하지만, 일반적으로 DCT 변환이 많이 사용 된다. 대역 확산 방법에 의한 워터마크 생성은 워터마크의 위치를 알 수가 없으며, 또한 삽입에 이용되는 주파수 성분도 원 영상의 특성을 결정짓는 성분들이 선택되므로 각종 신호처리 과정이나 고의적인 공격등에 대하여 강인한 특성을 갖게 된다.

2.5 워터마크에 대한 공격과 대책

워터마크를 제거하거나 파괴하는 의도적인 또는 비의도적인 공격에는 대략 다음과 같은 종류가 있다[3].

1) 고정 옵셋을 더하는 것
2) 가우션 또는 비가우션 잡음을 더하는 것
3) 저역 또는 고역 선형 필터링
4) 미디언 필터와 같은 비선형 필터링
5) MPEG 또는 H.263과 같은 하이브리드 코딩 방식에 의한 압축
6) 픽셀의 부분적 교환(2×2 블록 픽셀의 permutation 등)
7) 픽셀 그레이 값의 양자화

8) 비디오 프레임의 회전
9) 비디오 프레임의 공간적 스케일링
10) 픽셀의 제거 또는 삽입
11) 픽셀 행/열의 제거 또는 삽입
12) 비디오 프레임의 제거 또는 삽입
13) 동일한 비디오의 서로 다른 워터마크를 갖는 여러 버전의 평균 조작
14) VCR에서 아날로그로 녹화

1에서 7까지 열거된 공격은 파라메타(특별히 chip-rate)를 적절히 선정한다면 피할 수 있다. 비디오 프레임의 회전(8)도 회전각이 매우 작다면 마찬가지 이나 그렇지 않다면 회전에 대한 검출과 보정이 추가되어야 한다. 공간 스케일링(9)는 심각하며 스케일링 검출과 보정이 필요하다. 데이터의 일부를 제거하거나 추가하는 것(10-12)은 송신과 수신간의 PN sequence의 동기를 깨뜨리므로 고려되어야 한다. 동기 유실을 검출하거나 재동기를 시도하는(예를 들어 sliding correlator) 방식이 적용되어야 한다. 복잡성이 문제가 되지 않는다면 이러한 문제들은 막을 수 있다. 그러나 동일한 비디오의 서로 다른 워터마크를 갖는 여러 버전을 평균하여 원래의 신호를 재생한다면 실제적인 문제가 발생될 수 있다. 이러한 종류의 공격에 대한 대응책은 아직 연구 중에 있다.

2.6 워터마크의 성능 평가

워터마크의 성능을 평가하기 위하여 보통 강인성과 비가시성 이라는 두 가지 척도를 사용한다. 강인성이란 앞서 언급한 다양한 공격 방식에도 워터마크가 손상되거나 제거되지 않는 특성을 의미한다. 비가시성이란 워터마크의 삽입으로 데이터의 손상이나 원래 영상의 품질이 저하되지 않는 특성을 의미한다. 먼저 특정 공격에 대한 워터마크의 강인성이라는 척도를 정량화 하기 위해서는 워터마크가 검출되지 않을 때 까지 공격의 강도를 증가 시키는 방법을 사용한다. 이러한 강인성의 평가에 있어서 영상의 압축에 워터마크가 견디는 정도는 중요한 평가기준으로 사용되고 있다. 비가시성을 평가하기 위한 영상 품질 평가 측도에는 여러 가지가 있으나 PSNR이 널리 사용된다. PSNR은 인간의 시각 특성을 반영하지 못하므로 진정한 의미의 화질에 대한 평가 기준이라고 보기는 어려우나 계산이 간단하므로 널리 사용된다. 특히 최근에 연구되고 있는 많은 기법들이 인간의 시각 특성을 이용하므로 비가시성의 평가를 위한 연구가 많이 이루어지고 있다[12].

3. 대역확산 방식을 이용한 오브젝트 기반의 동영상 워터마킹

동영상에 워터마킹하는 방법에는 코딩되기 전의 비디오 신호에 워터마킹하는 방법과 코딩된 후의 비트스트림 영역에서 워터마킹 하는 방법이 있다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 워터마킹 방식을 보여 준다. 먼저 수신되는 MPEG-2 비트스트림은 헤드, 부가정보(side information) 그리고 움직임 벡터와 DCT에 의해 인코딩된 신호 블록으로 나누어 진다. 제안된 방식에서는 DCT에 의해 인코딩된 신호 블록에만 처리가 이루어지며 헤드, 부가정보(side information) 그리고 움직임 벡터는 그대로 전달된다. 단지 움직임 벡터는 오브젝트의 추출을 위해 참조된다. DCT에 의해 인코딩된 신호 블록은 허프만 코드에 의해 표현된다. ~~따라서~~ 수신되는 허프만 코드는 디코딩(EC^{-1})되고 역 양자화(Q^{-1})된다.

제안된 방식은 움직임 보상/이산 코사인 변환 방법으로 압축된 동영상의 비트스트림 영역에서 워터마킹을 한다. 따라서 DCT영역에서 워터마킹 과정을 수행하는 것이 구조적으로 간단하므로 DCT영역에서 대역확산 기법을 이용하여 워터마킹을 삽입하였다. 이때, DCT 계수 영역에서의 변조전달함수(MTF : modulation transfer function)를 적용하여 인간 시각 특성을 반영하였다. 그리고 비트스트림에 포함된 움직임 벡터를 이용하여 오브젝트를 추출하고 워터마크 정보가 오브젝트에 독립적으로 삽입되는 방식을 적용하였다.

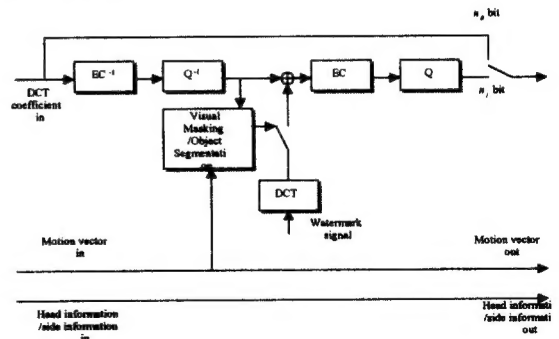



그림 2. 제안 방식의 블록도

3.1 대역확산방식을 이용한 영상의 워터마킹

비디오에 대한 워트마킹에서도 기본적인 아이디어는 인지 임계값(threshold of perception) 이하의 의사난수 신호(pseudo-random signal)를 더하는 것이다. 물론, 워터마킹 알고리즘의 파라메타에 대한 지식이 없는 상태에서는 식별되지도 제거되지도 않아야 한다.

먼저 정보 비트 열(비디오에 숨길 정보)을 다음과 같이 둔다.

$$a_j, \quad a_j \in \{-1,1\} \tag{2}$$

a_j 를 cr (chip-rate)에 의해 다음과 같이 확산한다.

$$b_i = a_j, \quad j \cdot cr \le i < (j+1) \cdot cr \tag{3}$$

확산 수열 b_i 를 증폭 계수(amplitude factor) α 만큼 증폭하고, 아래와 같은 이진(binary) PN 수열로 변조 한다.

$$p_i, \quad p_i \in \{-1,1\} \tag{4}$$

변조된 신호(워터마크) $w_i = \alpha \cdot b_i \cdot p_i$ 를 디지털 영상 신호 v_i 에 더하여 다음과 같은 워터마킹된 디지털 비디오 신호를 얻는다. 그림 3에 이러한 방식에 의해 워터마크를 삽입하는 과정을 나타내었다.

$$\hat{v}_i = v_i + \alpha \cdot b_i \cdot p_i \tag{5}$$

p_i 는 잡음과 같은 성질을 갖고 있으며, w_i 또한 잡음과 유사한 신호 이므로 검출하거나, 움직이거나 하는 등 처리가 어렵다. 숨겨진 정보의 복원은 코더에 사용된 것과 동일한 PN 수열 p_i 를 워터마킹된 비디오 신호에 곱 함으로서 쉽게 이루어 진다.

$$s_j = \sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i \cdot \hat{v}_i = \sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i \cdot v_i + \sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i^2 \cdot \alpha \cdot b_i \cdot p_i \tag{6}$$

만일 아래식이 성립한다면,

$$\sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i = 0 \tag{7}$$

즉, PN 수열은 많은 수의 1들과 1들을 포함하고 있으므로 구간 $[j \cdot cr ... (j+1) \cdot cr]$에서 p_i 와 v_i 는 상관성이 없고 따라서 아래와 같은 식이 성립한다.

$$\sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i \cdot v_i = 0 \tag{8}$$

실제로는 PN 수열에서 1들의 수와 -1들의 수가 같지 않으므로 식 (8)은 $\varnothing$이 되지 않으며 이로 인한 오차는 다음식으로 표시할 수 있다.

$$\Delta = -\left(\sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i\right) \cdot mean(\hat{v}_i) \tag{9}$$

또한 s_j는 오차 값이 더하여진 형태로 표현된다.

$$s_j = \sum_{i=j\cdot cr}^{(j+1)\cdot cr-1} p_i \, \hat{v}_i + \Delta \approx cr \cdot \alpha \cdot a_j \tag{10}$$

이상적인 PN 수열을 적용한 경우에는 식(9)에서 Δ값이 0가 되고 복원된 정보비트 $\hat{a}_j$는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{a}_j = sign(s_j) \tag{11}$$

이 방식이 제대로 동작하려면 변조시 사용된 것과 같은 PN 수열이 사용되어야 한다는 것이다. 따라서 수신측에서 기본 방식을 안다 할지라도 PN 수열을 모르면 숨겨진 정보를 복구 할 수 없다. 문제를 간단히 하기 위하여 이진 PN 수열로 가정을 한다. 비 이진(non-binary) PN 수열을 사용하여도 무방하며, 보안의 측면에서 유리할 수도 있다. 서로 다른 워터마크를 갖는 몇 개의 PN 수열이 주어질 때, 워터마크가 1과 -1로 구성되어 있다면 워터마킹된 픽셀을 찾는 것이 쉬워진다. 증폭계수 α는 영상의 국부적 특성에 따라 변할 수 있으며, 인간 시각 특성(HVS)의 시/공간 마스킹 효과를 활용하는데 이용될 수 있다. 또한 이 방식의 강인성을 증가 시키기 위해 오류 정정 코드를 사용할 수 있다. 만일 변조시 서로 다른 PN 수열을 사용한다면 몇 개의 워터마크를 중첩하여 삽입하는 것도 가능하다. 이는 서로 다른 PN 수열은 보통 서로 직교(orthogonal)하며 서로 심하게 간섭하지 않는 다는 사실 때문이다. 이러한 워터마크의 추출 과정을 그림 4에 나타내었다.

앞에서 언급한 바와 같이, 숨겨진 정보를 복구하기 위해서 워터마킹되지 않은 원영상을 필요로 하지는 않는다. 그러나 워터마킹되지 않은 원 영상이 있다면 복조하기 전에 필터링하는 대신 원 영상과 빼기 연산을 함으로서 보다 쉽게 숨겨진 영상을 복구할 수 있다. 이는 원 영상과 워터마킹된 영상과의 빼기 연산이 영상신호 자체 신호와 숨겨진 워터마크간의 간섭을 제거하기 때문이다.

제안된 방식은 DCT 영역에서 워터마킹을 수행하

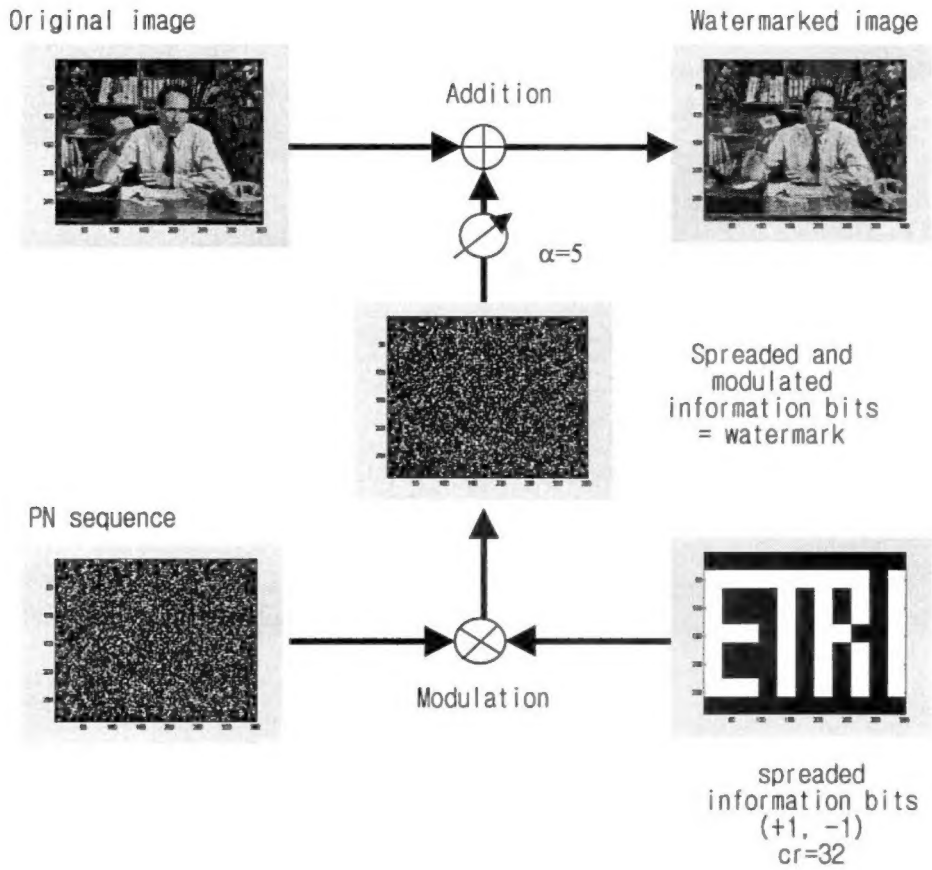



그림 3. 대역 확산 방식에 의한 워터마크의 삽입 과정 예

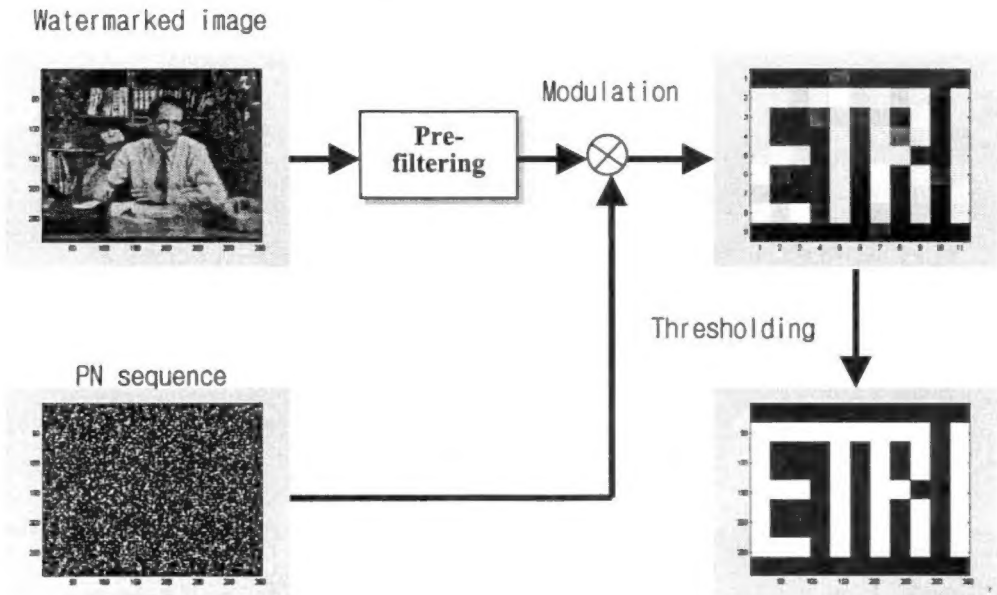



그림 4. 대역 확산 방식에 의한 워터마크의 추출 과정 예

였는데 이는 MPEG-2를 비롯한 대부분의 영상압축 알고리즘이 DCT를 채택하고 있으므로 압축영역에서 워터마킹을 하는 경우 구조가 간단해 진다는 장점 때문이다. 뿐 만 아니라 DCT는 에너지 밀집도가 높고, 변환 영역에서 인간 시각 특성을 적용하기가 용이하다는 장점을 갖고 있다. DCT 계수 영역에서의 인간 시각 특성은 변조전달함수의 개념으로 많이 연구되어 왔으며 Rao가 제안한 MTF를 이용하여 증폭계수 α를 제어 하였다. 적용한 MTF는 식 (12)로 표현된다[9].

$$H(f) = 2.46(0.1 + 0.25f)\exp(-0.25f) \quad (12)$$

이에 따른 주파수 하중계수(frequency weighting coefficient)는 표 1과 같다

표 1. Rao에 의한 주파수 하중 계수

0.4942	1.0000	0.7023	0.3814	0.1856	0.0849	0.0374	0.0160
1.0000	0.4549	0.3085	0.1706	0.0845	0.0392	0.0174	0.0075
0.7023	0.3085	0.2139	0.1244	0.0645	0.0311	0.0142	0.0063
0.3814	0.1706	0.1244	0.0771	0.0425	0.0215	0.0103	0.0047
0.1856	0.0845	0.0645	0.0425	0.0246	0.0133	0.0067	0.0032
0.0849	0.0392	0.0311	0.0215	0.0133	0.0075	0.0040	0.0020
0.0374	0.0142	0.0103	0.0067	0.0040	0.0022	0.0022	0.0011
0.0160	0.0175	0.0063	0.0047	0.0032	0.0020	0.0011	0.0006

3.2 비트스트림에 워터마킹하는 방법

그림 5에 MPEG-2 등에서 사용하는 움직임 보상/

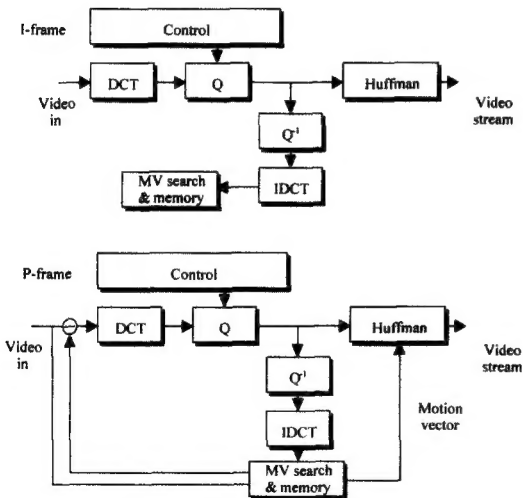



그림 5. 움직임 보상/이산 코사인 변환 방법에 의한 영상압축

이산 코사인 변환 방법의 일반적인 블록도를 나타내었다. MPEG-2 비트스트림 신텍스는 비트스트림에 사용자 데이터를 추가할 수 있다. 사용자 데이터 필드가 sequence, group of pictures 그리고 picture headers에 포함될 수 있다. 그러나 사용자 데이터는 쉽게 제거될 수 있으므로 이 방법은 워터마크를 삽입하기에 좋은 방법이 아니다. 뿐만 아니라 MPEG으로 인코딩된 비디오 열에 사용자 데이터를 추가하면 비트율이 증가한다. 따라서 본 논문에서는 신호 그 자체 즉 비디오 프레임을 표현하는 비트스트림에 워터마크를 넣는 방식을 사용한다.

이를 위해서 먼저 신호가 비트스트림의 어느 부분에 해당하는지 주위 깊게 살펴보아야 한다. 먼저 I 프레임에 대한 또는 P 프레임와 B 프레임 에 대한 예측오차 신호에서 나오는 8×8 샘플 블록을 고려한다. 이 블록은 DCT 변환되어 양자화된 후, 지그재그 스캔되고, (run,level) 쌍으로 가변길이 부호화되어 VLC 코드어로 변환된다. 따라서, 8×8 샘플 블록은 DC 계수를 표현하는 하나의 코드어와 (run,level) 쌍을 표현하는 다수의 VLC 코드어로 표현된다. VLC 테이블에 표현되지 않은 (run,level)- 조합은 24비트의 코드어로 코딩 된다. 워터마크를 삽입하기 위해서는 인코딩된 비디오 신호를 블록 단위로 처리해야 한다.

비트율 제한조건으로 인하여 워터마크의 DCT 계수 중 일부 만이 8×8 블록에 적용되고, 대부분의 경우(특히 coarse 양자화의 경우) 2 단계에서 DC 계수에 적용된다. 결과적으로, 비트스트림 영역에서의 워터마킹 방식은 픽셀영역에서의 상응하는 방식에 비해 강인성이 떨어진다. 비트스트림 영역에서는 워터마크의 에너지의 일부만이 성공적으로 삽입되기 때문이다. 그러나 비디오의 워터마킹에 대하여 chip-rate cr을 매우 높게 선택한다면, 강인성을 원하는 수준으로 올리면서 동시에 워터마크의 데이터 율을 감소시킬 수 있다.

실제로는 워터마킹에 의해 이전에 인코딩된 비트스트림을 일부 변경함으로 인해 발생될 수 있는 드리프트를 피하기 위한 방법도 고려되어야 한다. 워터마킹되지 않은 비디오를 병렬로 디코딩해야 하고 워터마크를 추가해야 할 뿐 아니라 이전에 발생된 드리프트를 제거하여야 한다.

3.3 오브젝트 기반의 워터마킹

본 논문에서 제안하는 방식은 DCT 계수 영역에 인간의 시각 특성을 이용할 뿐 아니라 동영상에서 오브젝트를 추출하고 오브젝트 별로 독립적인 워터마킹을 한다. 이렇게 함으로서 워터마크 정보의 시간, 공간, 주파수 분포가 동영상의 특성에 따라서 달라지고 평균 조작 또는 통계적인 분석과 같은 공격 방식에도 강인성을 보인다.

오브젝트의 정의와 이를 추출하는 방식은 여러 가지가 있을 수 있으나, 움직임 보상 방식을 적용하는 MPEG-2와 같은 동영상 압축 방식의 비트스트림에 포함되어 있는 움직임 벡터 정보를 이용하여 오브젝트를 추출하는 방식을 사용하였다. 그림 6에 ±7 BMA (block matching algorithm)을 이용하여 찾아낸 움직임 벡터를 나타내었다. 한번 추출된 오브젝트는 시간이 지남에 따라 이동하거나 변형되더라도 워터마크는 유지된다. 그러나 매 프레임 마다 오브젝트의 변형을 추정하여 과도한 변형이 발생된 경우에는 새로운 오브젝트를 추출하고 다른 워터마크를 삽입한다.

이방식은 이미 비트스트림에 들어있는 움직임 벡터를 이용하므로 매우 간단하지만 움직임이 없는 오브젝트의 경우는 검출이 되지 않는다는 점을 갖고 있으며 움직이는 부분의 면적이 매우 적은 경우 독립적으로 삽입 할 수 있는 워터마크 정보량이 적다는 단점이 있다.

4. 실험 및 고찰

모의 실험에서는 Salesman과 Flower Garden(그림 7)을 시험 영상으로 사용하였다. 이 영상은 CCIR 601의 1/2의 크기를 가지는 SIF(288×360) 형태이며 8비트로 양자화되어 있다. 이들 영상의 I 프레임에 대하여 모의 실험을 수행하였다. MPEG-2 의 DCT 및 양자화 과정을 구현하고 이에 대하여 워터마킹을 적용하여 그 결과를 고찰하였다. 향후 MPEG-2 비트스트림에 직접 적용할 예정이다.

그림8(a)에 cr로 확산된 워터마크 정보를 보여주고 있다. 이 정보가 영상에 숨길 워터마크 정보가 된다. 본 실험의 경우 총 99비트의 데이터를 갖는다. cr은 현재 32x32로 하였다. cr을 작게 하면 보다 많은 정보를 워터마킹 할 수 있지만 워터마크의 복구가 어려워 진다. 확산된 워터마크 정보는 동일한 크기의 PN 수열(그림8(b))로 변조되어 그림8(c)와 같은 워터마크 신호를 생성한다. 이때 변조 계수 를 크게 하면 보다 강인한 워터마크를 생성할 수 있지만, 대신 화질을 손상시킬 수 있다. 2장에서 언급하였듯이 영상의 품질과 워터마크의 강인성은 항상 타협대상이며, 강인하면서 영상의 품질을 저하시키지 않는 워터마킹기술이 연구 대상이 된다. 대역확산되고 PN 수열로 변조된 워터마크 신호는 원 영상에 더해 진다(그림9). 대역확산되고 PN 수열로 변조된 워터마크 신호는 마치 잡음 처럼 보이므로 검출하거나 삭제하기가 쉽지 않다. 본 논문에서 소개하는 방식은 워터마크 정보를 추출하기 위해 원 영상을 필요로 하지 않는다. 다만 워터마킹시 사용된 PN 수열을 식 (6)과 같이 워터마킹된 영상에 곱하면 그림 10에 나타난 것과 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 10에 나타난 것과 같은 오차 성분은 식(9)에 표현 된 바와 같이

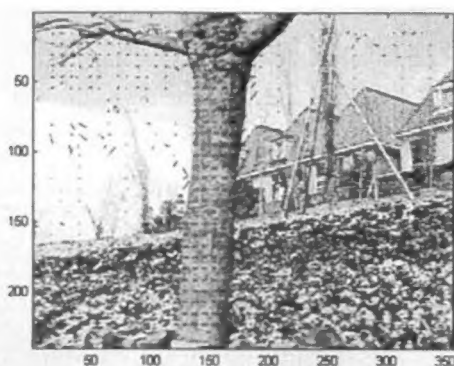
(a) Salesman 영상 15번째 프레임과 움직임 벡터들

(b) Flower Garden 영상 15번째 프레임과 움직임 벡터들

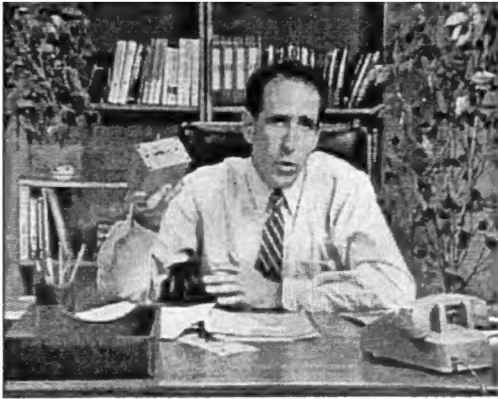
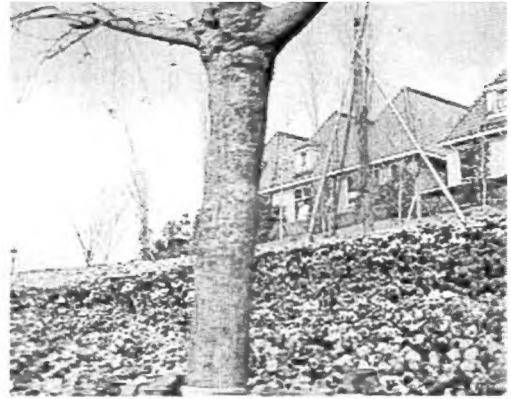
그림 6. 움직임 벡터 예

(a) Salesman 영상 15번째 프레임

(b) Flower Garden 영상 15번째 프레임

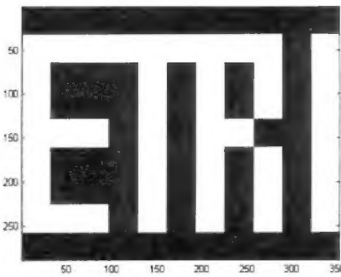
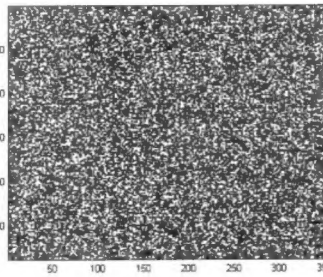
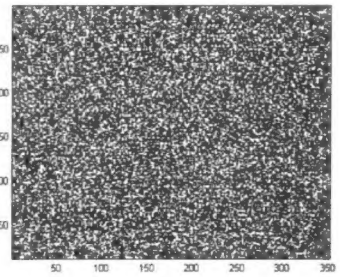
그림 7. 원 영상

(a) 확산된 워터마크 정보(cr=32×32)

(b) PN 수열

(c) 확산/변조된 워터마크 신호

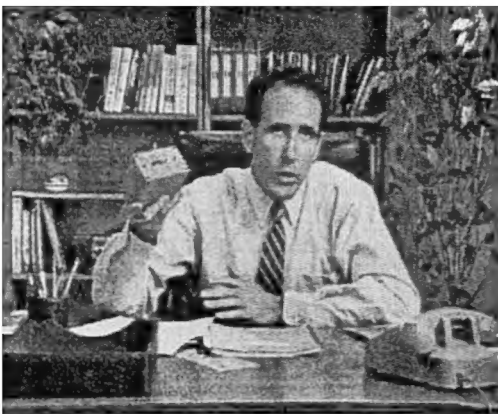
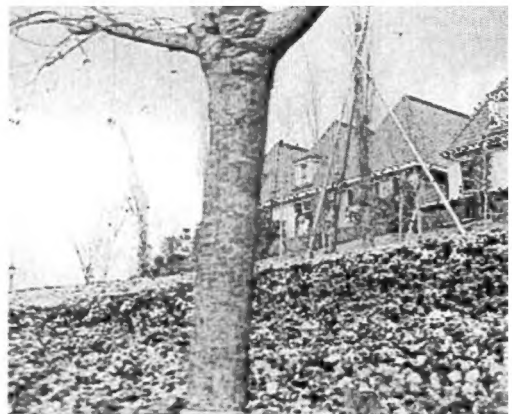
그림 8. 확산/변조된 워터마크 신호의 생성과정

(a) Salesman

(b) Flower Garden

그림 9. 워터마킹된 영상(=3)

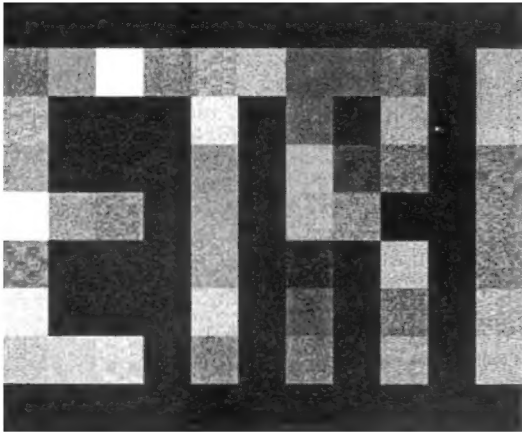



그림 10. Threshold 전의 복원 영상

원 영상과 대역 확산된 워터마크 신호와의 상관성으로 인한 것이다. 그림 10의 결과에 식(11)을 적용하면 원 영상에 숨겨진 워터마크 정보를 추출 할 수 있다.

본 논문에서는 신호 그 자체 즉 비디오 프레임을 표현하는 비트스트림에 워터마크를 삽입하고자 하였다. 비트스트림 영역에서 비디오에 워터마킹하는 방법은 비트율이 증가하지 말아야 한다는 조건이 있는 경우 3장에 제안된 알고리즘이 필요하지만 본 모의 실험에서는 이 조건은 무시하였다.

모의 실험을 위하여 가변길이 부호화 이전 단계에서 즉, DCT 계수에 대하여 워터마킹을 수행하였다. 그림 11(a)에 원 영상의 8×8 DCT 계수 들을 보여주고 있다. 그림에 나타나 듯이 비트스트림에 워터마크를 삽입하기 위해서는 비디오 신호를 블록 단위로 처리된다. 그림 11(b)에는 확산/변조된 워터마크의 8×8 DCT 계수를 보여 준다. 그림 12에는 그림 11의 한 8×8 블록을 나타내고 있다. 그림 12에서, 원 영상의 경우는 에너지가 저주파에 집중되지만 확산/변조된 워터마크의 DCT 계수의 경우 에너지가 분산되는 백색 잡음의 특성을 보여주고 있다.

본 모의 실험에서는 대역확산 방식을 시각적으로 표시하기 위하여 2차원 시각정보를 워터마킹하였으나 실제로는 사용자의 ID나 영상의 일련번호와 같은 2진 데이터를 삽입하게 된다. 2차원 시각정보를 워터마킹하는 경우 cr 이 32×32 경우 99비트의 정보를 삽입할 수 있으나 2진 데이터를 워터마킹하는 경우에는 99×32 비트의 정보를 삽입 할 수 있다.

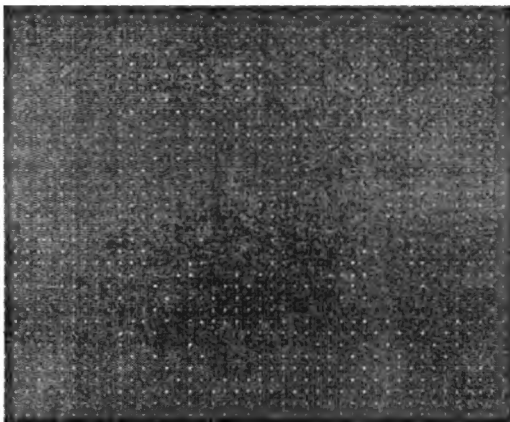
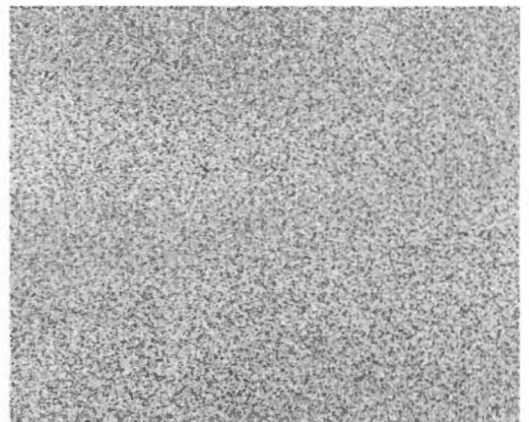
그림 13에 움직임 벡터의 절대 값을 이용하여 추출한 오브젝트를 표시하였다. 본 실험에서 움직임 벡터를 8×8 블록 단위로 계산하였으므로 8×8 블록 단위로 오브젝트를 분할하는 것이 간단하다. 8×8 블록 단위로 추출된 블록에서 움직임 벡터의 크기가 임계값을 넘어서는 경우를 분할해 내고 이를 최종 오브젝트로 정의하고 여기에 오브젝트 고유의 ID를 워터마킹하였다. 오브젝의의 개수는 임계값을 조정함으로서 제어 할 수 있다. 추출된 오브젝트는 매 프레임 마다 이동하거나 변형될 수 있으므로, 매 프레임 마다 오브젝트의 변형을 추정하여 과도한 변형이 발생된 경우에는 새로운 오브젝트를 추출하고 다른 워터마크를 삽입한다.

(a) 원 영상의 DCT계수 8×8 블록 단위로

(b) 확산/변조된 워터마크의 DCT 계수

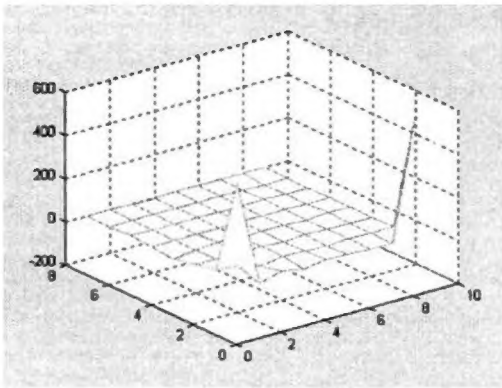
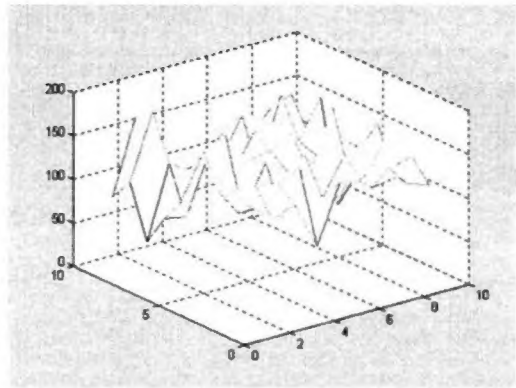
그림 11. DCT 계수 들

(a) 원영상의 DCT계수 중 한 블록

(b) 확산 변조된 워터마크의DCT계수 중 한 블록

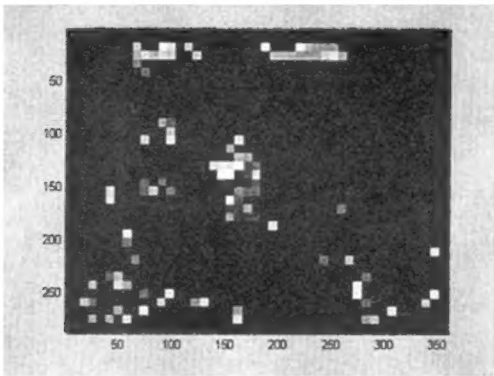
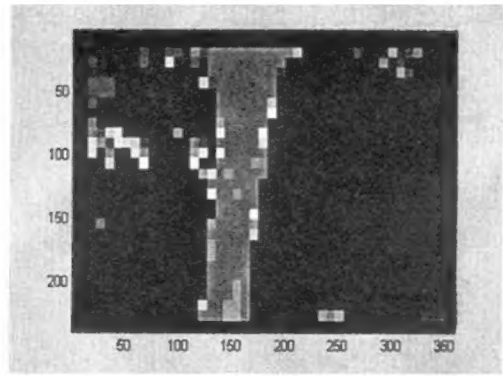
그림 12. 8×8블록 DCT계수 예

(a) Salesman

(b) Flower Garden

그림 13. 움직임 벡터에 의해 추출된 오브젝트들

5. 결 론

초고속 통신망의 발전과 함께 가까운 미래에 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 네트워크를 통한 상업적 거래가 확대될 것으로 기대된다. 또한 지적 소유권의 확대로 인해 보다 많은 컨텐트의 지적 재산권, 소유권을 보호하려고 할 것이다. 이에 따라 워터마크에 대한 수요는 더욱 더 급증할 것이고 이에 대한 연구도 늘어날 것으로 추측된다.

본 논문에서는 대역 확산 방식을 적용하여 필터링, 확대, 축소, 일부영상 추출 등의 영상변형에 강인하며, 디지털 TV 방송 프로그램, 비디오 영상 등의 동영상에 적용할 수 있는 워터마킹 기술을 제안하였다. 제안된 방식은 동영상의 비트스트림 영역에서 코딩하는 방법을 사용하였으며, 기본적으로 DCT영역에서 대역확산 기법을 이용하여 워터마킹을 삽입하였다. 그리고 비디오 신호의 압축시 이미 계산되어 비트스트림에 포함된 움직임 벡터를 이용하여 오브젝트를 추출하고 워터마크 정보가 오브젝트에 독립적으로 삽입되는 방식을 적용하였다. 이 방식은 프레임마다 워터마크 정보가 다르게 삽입될 뿐 아니라 평균 조작 또는 통계적인 분석과 같은 공격 방식에도 강인성을 보인다.그러나 오브젝트를 추출하는 방법과 이에 따른 성능 평가에 대한 계속적인 연구가 요구된다.

워터마크에서 간과할 수 없는 것이 앞에서도 수차례 언급한 워터마크를 내장시켰을 때의 영상의 품질과 워터마크의 강인성이다. 이를 위한 여러 가지

방법들과 이에 대한 평가 방법에 대한 연구가 여러 연구팀에 의해 연구되고 있다. 추후 이러한 분야에 관한 연구가 지속될 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling", *In Proceedings of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image processing*, Neos Marmaras, Greece, June 1995.

[2] Hartung and B. Girod, "Digital Watermarking of MPEG-2 Coded Video in the Bitstream Domain", *Proceedings ICASSP 97*, Volume 4, pp. 2621-2624, Munich, Germany, April 1997.

[3] Hartung and B. Girod, "Digital Watermarking of Raw and Compressed Video", *Proc. European EOS/SPIE Symposium on Advanced Imaging and Network Technologies*, Berlin, Germany, October 1996.

[4] Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", *Signal Processing*, vol. 66, no. 3 (Special issue on Watermarking), pp. 283-301, May 1998.

[5] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", *Technical Report 95-10*, NEC Research Institute, Princeton, NJ, USA, 1995.

[6] Masao Kasahara, "Digital watermark safeguard multimedia copyright", *Nikkei Electronics Asia*, Vol. 6, No. 5, pp.46-52, 1997.

[7] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling", *In Proc. of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, pages 452-455, Halkidiki, Greece, June 1995.

[8] Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints", *In IEEE International Conference on Image Processing* (ICIP'96), volume III, pages 231-234, Lausanne, Switzerland, September 1996.

[9] B. Chitprasert and K. R. Rao, "Human visual weighted progressive image transmission", *ICCS '88, Int. Conf. on Commun. Sys.*, Singapore, no. 17, Nov. 1988.

[10] 박덕령, 박성한, "디지털 영상의 복사 방지를 위한 적응 워터마킹 기법", *전자공학회논문지*, 제 35권, S편, 제4호, 1998년 4월.

[11] 정윤정, 정창훈, 류대현, "동영상 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기술연구", *제11회 정보보호와 암호에 관한 학술대회*, 1999년 9월.

[13] Internet site.http://www.digital-watermark.com

류 대 현

1983년 부산대학교 전기기계공학과(학사)
1985년 부산대학교 전자공학과(석사)
1987년~1998년 한국전자통신연구원 선임연구원
1996년 부산대학교 전자공학과(박사)
1998년~현재 한세대학교 컴퓨터정보통신공학부 전임
관심분야 : 영상처리, 영상압축, 정보보호, 암호응용
e-mail : dhryu@intra.hansei.ac.kr